

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-303741

(43)Date of publication of application : 18.10.2002

(51)Int.Cl.

G02B 6/00  
C03B 37/00  
G01M 11/00

(21)Application number : 2001-108941

(71)Applicant : SHIN ETSU CHEM CO LTD

(22)Date of filing : 06.04.2001

(72)Inventor : OYAMADA HIROSHI

**(54) GLASS PREFORM FOR SINGLE MODE OPTICAL FIBER, SINGLE MODE OPTICAL FIBER AND ITS EVALUATION METHOD****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a single-mode optical fiber in which faulty part in transmission loss can be easily specified through OTDR measurement from only one end of an optical fiber, and also to provide a preform for producing such optical fiber as well as its evaluation method.

**SOLUTION:** The preform for a single-mode optical fiber is constituted of a columnar core and a cylindrical clad surrounding the core. The preform is characterized by having a variation of 6% or below as to the specific index difference  $n$  in the longitudinal direction, assuming the index of refraction is  $n_1$  and  $n_2$  for the core and the clad respectively.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-303741

(P2002-303741A)

(43) 公開日 平成14年10月18日 (2002. 10. 18)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	テ-マコ-ト*(参考)
G 0 2 B 6/00	3 7 6	G 0 2 B 6/00	3 7 6 B 2 G 0 8 6
C 0 3 B 37/00		C 0 3 B 37/00	Z 2 H 0 5 0
G 0 1 M 11/00		G 0 1 M 11/00	R 4 G 0 2 1

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-108941(P2001-108941)

(22) 出願日 平成13年4月6日 (2001. 4. 6)

(71) 出願人 000002060

信越化学工業株式会社

東京都千代田区大手町二丁目6番1号

(72) 発明者 小山田 浩

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化

学工業株式会社精密機能材料研究所内

(74) 代理人 100093735

弁理士 荒井 鐘司 (外2名)

Fターム(参考) 2G086 C002

2H050 AC03 AC09 AC71 AC82

4C021 EB26

(54) 【発明の名称】 シングルモード光ファイバ用ガラス母材及びシングルモード光ファイバ並びにその評価方法

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバの片端のみからのOTDR測定により、容易に伝送損失不具合箇所を特定化できるシングルモード光ファイバを提供すること、またこのような光ファイバを作製するための光ファイバ用母材並びにその評価方法を提供する。

【構成】 本発明のシングルモード光ファイバ用母材は、円柱状のコア及びこれを取り巻く円筒状のクラッドから構成され、該コア、クラッドの屈折率をそれぞれ順に $n_1$ 、 $n_2$ とすると、次式で表される比屈折率差 $\Delta n$ の変動量が長手方向において6%以下であることを特徴としている。

FP04-0298
-00W0-SE
04.11.22
SEARCH REPORT

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 円柱状のコア及びこれを取り巻く円筒状のクラッドから構成され、該コア、クラッドの屈折率がそれぞれ順に $n_1$ 、 $n_2$ とすると、次式で表される比屈折率差 $\Delta n$ の変動量が長手方向において6%以下であることを特徴とするシングルモード光ファイバ用ガラス母材。

## 【数1】

$$\Delta n = \{ (n_1 - n_2) / n_1 \} \times 100 [\%]$$

【請求項2】 請求項1に記載のシングルモード光ファイバ用ガラス母材を線引きして作製した光ファイバであって、比屈折率差 $\Delta n$ の変動量が長手方向において6%以下であることを特徴とするシングルモード光ファイバ。

【請求項3】 請求項1に記載のシングルモード光ファイバ用ガラス母材を線引きして作製した光ファイバであって、OTDR法により光パルス試験器を用いて波形測定を行い、入射した光の波長を $\lambda$ 、光ファイバの全長を $L$ としたとき、光ファイバの入射端面からの距離 $z$ の位置での後方散乱光強度を $S_1(\lambda, z)$ とし、 $z$ の位置から出射端面までの後方散乱光強度を $S_2(\lambda, L-z)$ とすると、次式で表わされる波形の変動量 $I(\lambda, z)$ が0.1dB以下であることを特徴とするシングルモード光ファイバ。

## 【数2】

$$I(\lambda, z) = \{ S_1(\lambda, z) - S_2(\lambda, L-z) \} / 2$$

【請求項4】 OTDR法により光パルス試験器を用いて波長 $\lambda_1$ 及びこれより波長の長い $\lambda_2$ の2波長で波形測定を行ない、波長 $\lambda_1$ 及び $\lambda_2$ における前記波形の変動量 $I(\lambda, z)$ をそれぞれ $I(\lambda_1, z)$ 、 $I(\lambda_2, z)$ とすると、次式で表わされる領域が光ファイバの長手方向の少なくとも一部に存在する請求項3に記載のシングルモード光ファイバ。

## 【数3】

$$| I(\lambda_1, z) | < | I(\lambda_2, z) | \leq 0.1 \text{ dB}$$

【請求項5】 前記 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の2波長がそれぞれ1310nm、1550nmであるとき、 $I(\lambda_1, z) = 0.8 \times I(\lambda_2, z)$ の関係を満たす領域が光ファイバの長手方向の少なくとも一部に存在する請求項4に記載のシングルモード光ファイバ。

【請求項6】 円柱状のコア及びこれを取り巻く円筒状のクラッドから構成され、該コアの長手方向におけるコア直径の変動量が7%以下であることを特徴とするシングルモード光ファイバ用ガラス母材。

【請求項7】 請求項6に記載のシングルモード光ファイバ用ガラス母材を線引きして作製した光ファイバであって、長手方向におけるコア直径の変動量が7%以下であることを特徴とするシングルモード光ファイバ。

【請求項8】 請求項6に記載のシングルモード光ファイバ用ガラス母材を線引きして作製した光ファイバであ

って、OTDR法により光パルス試験器を用いて波形測定を行い、入射した光の波長を $\lambda$ 、光ファイバの全長を $L$ としたとき、光ファイバの入射端面からの距離 $z$ の位置での後方散乱光強度を $S_1(\lambda, z)$ とし、 $z$ の位置から出射端面までの後方散乱光強度を $S_2(\lambda, L-z)$ とすると、次式で表わされる波形の変動量 $I(\lambda, z)$ が0.1dB以下であることを特徴とするシングルモード光ファイバ。

## 【数4】

$$I(\lambda, z) = \{ S_1(\lambda, z) - S_2(\lambda, L-z) \} / 2$$

【請求項9】 OTDR法により光パルス試験器を用いて波長 $\lambda_1$ 及びこれより波長の長い $\lambda_2$ の2波長で波形測定を行ない、波長 $\lambda_1$ 及び $\lambda_2$ における前記波形の変動量 $I(\lambda, z)$ をそれぞれ $I(\lambda_1, z)$ 、 $I(\lambda_2, z)$ とすると、次式で表わされる領域が光ファイバの長手方向の少なくとも一部に存在する請求項8に記載のシングルモード光ファイバ。

## 【数5】

$$| I(\lambda_2, z) | < | I(\lambda_1, z) | \leq 0.1 \text{ dB}$$

【請求項10】 前記 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の2波長がそれぞれ順に1310nm、1550nmであるとき、 $I(\lambda_1, z) = 2 \times I(\lambda_2, z)$ の関係を満たす領域が光ファイバの長手方向の少なくとも一部に存在する請求項9に記載のシングルモード光ファイバ。

【請求項11】 OTDR法により光パルス試験器を用いて、波長 $\lambda_1$ 及びこれより波長の長い $\lambda_2$ の2波長で波形測定を行い、光ファイバの全長を $L$ としたとき、光ファイバの入射端面からの距離 $z$ の位置での後方散乱光強度を $S_1(\lambda, z)$ とし、 $z$ の位置から出射端面までの後方散乱光強度を $S_2(\lambda, L-z)$ とすると、次式で表される波形の変動量 $I(\lambda, z)$ を求め、波長 $\lambda_1$ の変動量 $I(\lambda_1, z)$ と波長 $\lambda_2$ の変動量 $I(\lambda_2, z)$ との大小を比較して評価することを特徴とするシングルモード光ファイバの評価方法。

## 【数6】

$$I(\lambda, z) = \{ S_1(\lambda, z) - S_2(\lambda, L-z) \} / 2$$

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、シングルモード光ファイバに係り、特に、OTDR (Optical Time Domain Reflectometry) 法による光パルス試験器を用いた波形測定によって、光ファイバの長手方向での伝送損失不具合箇所を特定可能なシングルモード光ファイバ及びそれを作製するための光ファイバ用母材並びにその評価方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 光ファイバの伝送損失を測定する手法の一つに、カットバック法がある。この方法は、長尺の光ファイバの片端に所定の波長の光を入射し、他端から出射した光のパワーを測定する。次に、この光ファイバの

入射端側の約2mを切り出し、切り出した光ファイバについても同様に射出光のパワーを測定し、両パワーの差を求め、得られたパワー差分を、測定していない残りの長尺光ファイバの伝送損失とするものである。この方法では、光ファイバの全長に対する平均的な伝送損失を正確に測定できる反面、光ファイバの長手方向にわたる伝送損失の分布状況を知ることはできない。仮に伝送損失が高く出た場合、それが光ファイバ全長にわたって伝送損失が高くなっているのか、あるいは一部分に伝送損失の高い部分があるのか、その位置は何処なのか、といった情報は得られないという欠点がある。

【0003】一方、長手方向の伝送損失情報を得る手段として、OTDR法が挙げられる。この方法は、光ファイバの片端から所定の波長のパルス光を入射し、光ファイバの入射端面からの距離 $z$ の位置から戻ってくるレーリー

$$S(\lambda, z) = 10 \log \sqrt{P(\lambda, z)}$$

$$= 5 \log P_0 \cdot \alpha(\lambda) + 5 \log B(\lambda, z) - 10 (\log e) \int_0^z \gamma(x) dx$$

ただし、長手方向に伝送損失が比較的安定した光ファイバの場合、レーリー散乱係数 $\alpha$ は長手方向の位置に依らずほぼ一定とした。

【0006】典型的なOTDR測定の結果を図1に示す。後方散乱光強度 $S(\lambda, z)$ が単調に減少している部分は、伝送損失特性が安定していることを示している。10,000m付近での曲線の屈折は、この付近で急激に伝送損失が上昇していることを示している。伝送損失が上昇する原因としては、光ファイバがこの部分で強い応力を受けてマイクロベンディング・ロスが生じている、あるいは2本の光ファイバを接続した際の接続点である等、種々考えられる。いずれにせよ、このような伝送損失の高い領域は光信号の伝送上望ましくない領域であり、伝送損失が大きい場合にはこの領域部分の光ファイバを敷設しな

$$S_1(\lambda, z) = 5 \log P_{01} \cdot \alpha(\lambda) + 5 \log B(\lambda, z) - 10 (\log e) \int_0^z \gamma(x) dx$$

【数10】

$$S_2(\lambda, z-L) = -5 \log P_{02} \cdot \alpha(\lambda) - 5 \log B(\lambda, z) + 10 (\log e) \int_0^z \gamma(x) dx$$

【数11】

$$D(z) = \{S_1(\lambda, z) + S_2(\lambda, z-L)\} / 2$$

$$= \text{const.} - 10 (\log e) \int_0^z \gamma(x) dx$$

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、線引き直後のボビンに巻かれた状態の光ファイバであれば、両端からのOTDR測定も可能であるが、この光ファイバをケーブル化して敷設されるときには数十kmのほぼ直線状となるため、この場合、両端からのOTDR測定は極めて困難となる。このため、実際の敷設現場では片端のみからの測定で、伝送損失不具合箇所を特定する必要が生じるが、片端からの測定では伝送損失が実際には小さい場合においても、捕集係数 $B$ の変動によって生じる変動部分まで、伝送損失不具合部分として過大評価されることが

散乱光（以下、後方散乱光という）を観測することにより、光ファイバの伝送損失を測定する方法である。後方散乱光強度 $P(\lambda, z)$ は、次の【数7】式で求められる。

【0004】

【数7】

$P(\lambda, z) = P_0 \cdot \alpha(\lambda, z) \cdot B(\lambda, z) \exp \{-2 \int_0^z \gamma(x) dx\}$   
上式において、 $P_0$ は入射端（ $z=0$ ）における伝搬光の強度、 $\alpha$ はレーリー散乱係数、 $B$ は後方散乱光捕集係数、 $\gamma$ は局所的な伝送損失を示す。この【数7】式を対数値に変換しdBスケールで表現すると【数8】式となり、後方散乱光強度 $S(\lambda, z)$ は、光ファイバの長手方向の位置によって変化する。

【0005】

【数8】

おすとか、接続しなおす等の対策が必要となる。

【0007】ところで、OTDR法による伝送損失の測定（以下、OTDR測定という）は、片端のみからでは正しい測定ができないことが知られている。すなわち、上記【数7】式から明らかなように、後方散乱光の強度に影響する因子は、伝送損失 $\gamma(z)$ だけではなく、後方散乱光の補修係数 $B(z)$ が変動している場合にも類似した波形変動が生じる。そのため、伝送損失を正しく測定するためには、光ファイバの両端から波形測定を行い、下記の【数9】式、【数10】式から、補修係数 $B$ 成分を相殺し、伝送損失 $\gamma$ 成分だけを取り出した【数11】式の $D(z)$ で評価する必要がある。

【0008】

【数9】

ある。

【0010】そこで、本発明は、光ファイバの片端のみからのOTDR測定により、容易に伝送損失不具合箇所を特定化できるシングルモード光ファイバを提供すること、またこのような光ファイバを作製するための光ファイバ用母材並びにその評価方法を提供することを課題としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】請求項1のシングルモード光ファイバ用母材は、円柱状のコア及びこれを取り巻く円筒状のクラッドから構成され、該コア、クラッドの屈折率をそれぞれ順に $n_1$ 、 $n_2$ とするとき、次式で表される比屈折率差 $\Delta n$ の変動量が長手方向において6%以下であることを特徴としている。

【数12】

$$\Delta n = \{ (n_1 - n_2) / n_1 \} \times 100 [\%]$$

【0012】請求項2に記載のシングルモード光ファイバは、請求項1に記載のシングルモード光ファイバ用ガラス母材を線引きして作製した光ファイバであって、比屈折率差 $\Delta n$ の変動量が長手方向において6%以下であることを特徴としている。

【0013】請求項3に記載のシングルモード光ファイバは、請求項1に記載のシングルモード光ファイバ用ガラス母材を線引きして作製した光ファイバであって、OTDR法により光パルス試験器を用いて波形測定を行い、入射した光の波長を $\lambda$ 、光ファイバの全長を $L$ としたとき、光ファイバの入射端面からの距離 $z$ の位置での後方散乱光強度を $S_1(\lambda, z)$ とし、 $z$ の位置から出射端面までの後方散乱光強度を $S_2(\lambda, L-z)$ とすると、次式で表わされる波形の変動量 $I(\lambda, z)$ が0.1dB以下であることを特徴としている。

【数13】

$$I(\lambda, z) = \{ S_1(\lambda, z) - S_2(\lambda, L-z) \} / 2$$

【0014】請求項4に記載のシングルモード光ファイバは、OTDR法により光パルス試験器を用いて波長 $\lambda_1$ 及びこれより波長の長い $\lambda_2$ の2波長で波形測定を行い、波長 $\lambda_1$ 及び $\lambda_2$ における前記波形の変動量 $I(\lambda, z)$ をそれぞれ $I(\lambda_1, z)$ 、 $I(\lambda_2, z)$ とすると、次式で表わされる領域が光ファイバの長手方向の少なくとも一部に存在するとされる。

【数14】

$$| I(\lambda_1, z) | < | I(\lambda_2, z) | \leq 0.1 \text{ dB}$$

請求項5に記載のシングルモード光ファイバは、前記 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の2波長がそれぞれ1310nm、1550nmであるとき、 $I(\lambda_1, z) = 0.8 \times I(\lambda_2, z)$ の関係を満たす領域が光ファイバの長手方向の少なくとも一部に存在する。

【0015】また、請求項6に記載のシングルモード光ファイバ用ガラス母材は、円柱状のコア及びこれを取り巻く円筒状のクラッドから構成され、該コアの長手方向におけるコア直径の変動量が7%以下であることを特徴としている。

【0016】請求項7に記載のシングルモード光ファイバは、請求項6に記載のシングルモード光ファイバ用ガラス母材を線引きして作製した光ファイバであって、長手方向におけるコア直径の変動量が7%以下であることを特徴としている。

【0017】請求項8に記載のシングルモード光ファイバは、請求項6に記載のシングルモード光ファイバ用ガラス母材を線引きして作製した光ファイバであって、OTDR法により光パルス試験器を用いて波形測定を行い、入射した光の波長を $\lambda$ 、光ファイバの全長を $L$ としたとき、光ファイバの入射端面からの距離 $z$ の位置での後方散乱光強度を $S_1(\lambda, z)$ とし、 $z$ の位置から出射端面までの後方散乱光強度を $S_2(\lambda, L-z)$ とすると、次式

で表わされる波形の変動量 $I(\lambda, z)$ が0.1dB以下であることを特徴としている。

【数15】

$$I(\lambda, z) = \{ S_1(\lambda, z) - S_2(\lambda, L-z) \} / 2$$

【0018】請求項9に記載のシングルモード光ファイバは、OTDR法により光パルス試験器を用いて波長 $\lambda_1$ 及びこれより波長の長い $\lambda_2$ の2波長で波形測定を行い、波長 $\lambda_1$ 及び $\lambda_2$ における前記波形の変動量 $I(\lambda, z)$ をそれぞれ $I(\lambda_1, z)$ 、 $I(\lambda_2, z)$ とすると、次式で表わされる領域が光ファイバの長手方向の少なくとも一部に存在するとされる。

【数16】

$$| I(\lambda_2, z) | < | I(\lambda_1, z) | \leq 0.1 \text{ dB}$$

請求項10に記載のシングルモード光ファイバは、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の2波長がそれぞれ順に1310nm、1550nmであるとき、 $I(\lambda_1, z) = 2 \times I(\lambda_2, z)$ の関係を満たす領域が光ファイバの長手方向の少なくとも一部に存在する。

【0019】本発明のシングルモード光ファイバの評価方法は、OTDR法により光パルス試験器を用いて、波長 $\lambda_1$ 及びこれより波長の長い $\lambda_2$ の2波長で波形測定を行い、光ファイバの全長を $L$ としたとき、光ファイバの入射端面からの距離 $z$ の位置での後方散乱光強度を $S_1(\lambda, z)$ とし、 $z$ の位置から出射端面までの後方散乱光強度を $S_2(\lambda, L-z)$ とすると、次式で表わされる波形の変動量 $I(\lambda, z)$ を求め、波長 $\lambda_1$ の変動量 $I(\lambda_1, z)$ と波長 $\lambda_2$ の変動量 $I(\lambda_2, z)$ との大きさを比較して評価するものである。

【数17】

$$I(\lambda, z) = \{ S_1(\lambda, z) - S_2(\lambda, L-z) \} / 2$$

【0020】

【発明の実施の形態】光ファイバの伝送損失上の不具合要因の一つにマクロベンディング損失がある。これは、光ファイバに1～数十mmオーダーの曲げが加えられた際に、伝搬する光の一部が外部に放出される現象で、伝送損失として観測される。この損失の程度は、光ファイバの屈折率分布状態や曲げの大きさによって異なるが、一般には曲げ半径が小さいほど、曲げられた区間が長いほど、カットオフ波長が小さいほど、モードフィールド径が大きいほど、さらに伝送波長が長いほど大きくなる傾向がある。国際規格であるITU-T (Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union) のG.652によると、直径32mm $\phi$ ×1周の曲げに対するマクロベンディング損失が1dB以下であることが要求されている。

【0021】さらに、光ファイバの伝送損失上の不具合要因には接続損失がある。これは主に2本の光ファイバの接続部分において、両光ファイバのパワー分布の重なりが一致しない場合に生じる。原因としては光ファイバのコアの軸ずれが挙げられる。例えば、典型的なシングルモード光ファイバ（ステップ型屈折率分布、モードフ

ィールド径MFD=9.2 $\mu$ m)の場合、コア軸を互いに1 $\mu$ mずらして接続した場合、0.2 dBもの接続損失が生じる。本発明は、損失が0.1 dB程度以上となる伝送損失の不具合箇所を、OTDR測定で片端からの入射光測定により容易に検出できるように、光ファイバ自体に工夫を加えたものである。

【0022】次に、図2～4にもとづきOTDR測定法の実際について説明する。なお、図2～4(c)において、縦軸は後方散乱光強度であり、横軸は光ファイバの入射端面からの距離 $z$ である。ただし、図4(d)の縦軸は捕集係数 $B$ の変動分 $I(\lambda, z)$ であり、図4(e)の縦軸はMFD値である。光ファイバの全長にわたって伝送損失が一定の場合は、図2に示すような $S(\lambda, z)$ が直線的に単調に減少する測定波形が得られる。さて、光ファイバの一部に伝送損失の高い部分が存在する場合、図3の(a), (b)に示すような測定波形が得られる。ここで(a)は光ファイバの一端から測定した波形であり、(b)は他端から測定した波形である。次に、図3(b)の波形を左右逆にプロットして、 $S(\lambda, z-L)$ を求めたものが図3(c)である。このようにして得られた図3(a)と図3(c)から、【数11】式により $D(z)$ を求めると図3(d)が得られる。図3(d)にお

$$B = \{3/[4k^2 a^2 \Delta n^2]\} \times \{[\int_0^L \phi^4(r) r dr] / [\int_0^L \phi^2(r) r dr]^2\}$$

捕集係数 $B$ が変動する要因はMFDの変動にあり、捕集係数 $B$ とMFDとの間に、 $B \propto [MFD]^{-2}$ の関係がある。なお、上式において、 $k$ は波長によって決まる定数、 $a$ はコア径、 $\Delta n$ は光ファイバ屈折率差、 $\psi$ は伝播する光の電界分布、 $r$ は光ファイバの中心からの距離(半径)である。実際に、この光ファイバを長手方向に切断してMFDを測定したのが図4(e)であり、この図から図4

(d)の関係が確認される。従って、逆の見方をすると、MFDの長手方向の変動が均一な光ファイバであれば、捕集係数 $B$ が均一となり、不具合箇所を光ファイバの片端のみのOTDR測定で検出可能になる。

【0026】MFDの変動の要因は、大きく2つ考えられる。一つは比屈折率差の変動であり、もう一つはコアの直径の変動である。そこで、直径数十mm程度のガラス母材を作製し、これを加熱軟化させ延伸することによって直径120 $\mu$ m程度の光ファイバとする。ガラス母材の屈折率分布は、光ファイバのそれと相似形になるように調整されているが、上記各パラメータの変動は、ガラス母材の段階で生じる可能性と、それを延伸して光ファイバ化する段階で生じる可能性が存在する。

【0027】すなわち、ガラス母材の段階で屈折率やコア径が変動していると、これがほぼそのまま光ファイバの屈折率やコア径の変動に結びつく。また、ガラス母材の段階で屈折率やコア径の変動を小さくしたとしても、延伸する際に冷却速度などが変動すると光ファイバ内の残留応力状態が変化して屈折率分布の変動となって現

いては、X部分の傾斜が大きくなっており、この位置で確かに伝送損失が大きいたことが確認される。

【0023】一方、捕集係数 $B$ が変化している部分が存在する光ファイバの場合には、図4の(a)、(b)に示す様な測定波形が得られる。なお、(a)は光ファイバの一端から測定した波形であり、(b)は他端から測定した波形である。ここで特徴的なのは、捕集係数 $B$ が変化している部分 $Y$ は(a)、(b)でその傾斜方向が互いに逆になっている点である。上記と同様のデータ処理を行なって $D(z)$ を求めると図4(c)が得られる。図4(c)においては、 $Y$ 部分の波形変動は互いにキャンセルされて全体に一樣な波形となっている。つまり、 $Y$ 部分は伝送損失が変化していないことを示している。

【0024】図4(d)は、下記の【数18】式によって、捕集係数 $B$ の変動分を取り出してプロットした図である。

【数18】

$$I(\lambda, z) = \{S_1(\lambda, z) - S_2(\lambda, z-L)\} / 2 \\ = \text{const.} + 5 \log B(\lambda, z)$$

【0025】また、捕集係数 $B$ は、下記の【数19】式で表される。

【数19】

$$B = \{3/[4k^2 a^2 \Delta n^2]\} \times \{[\int_0^L \phi^4(r) r dr] / [\int_0^L \phi^2(r) r dr]^2\}$$

れ、また延伸径が変動したりするとコア径の変動となって現れる。ちなみに、母材のパラメータが変動していると、これをキャンセルするように光ファイバの線引きをコントロールするのは極めて困難である。

【0028】従って、これらパラメータの変動の小さい光ファイバを作製するには、母材の作製と光ファイバへの線引きとの両段階で、各パラメータの変動を最小限に抑え、さらに検査の結果、変動が認められる場合には、変動部分を除去して特性の安定した部分だけを取り出す必要がある。そこで、それぞれの変動量がどのようにOTDR測定波形の変動、とりわけ捕集係数 $B$ の変動に影響するかを調べた。

【0029】まず、比屈折率差 $\Delta n=0.35\%$ を基準として、長手方向にコアの比屈折率差を変動させたプリフォームをVAD法により作製し、これをコア径が8 $\mu$ mとなるように線引きして得た光ファイバを用いてOTDR測定を行ない、その結果を図5～7に示した。図5は、波長 $\lambda_1$ (1310nm)と波長 $\lambda_2$ (1550nm)で光ファイバの長手方向の位置 $z$ を変えて測定した波形の変動量 $I$ を上記

【数18】式によって捕集係数 $B$ の変動分を取り出し、各 $z$ についてプロットした図である。

【0030】次に、コア径8 $\mu$ m、 $\Delta n=0.35\%$ を基準値として、 $\Delta n$ を微小に変化させたときの電界分布 $\psi$ をシミュレーションによって計算し、【数19】式に基づいて捕集係数 $B$ を求め、さらに【数18】式に基づいて後方散乱光強度の変化量の捕集係数変動分 $I(\lambda, z)$ を

求め、 $\Delta n=0.35\%$ のときの $I$ を基準にして差分をとると $I$ の相対値がシミュレーションできる。図6は、このようにして $\lambda_1$  (1310nm)、 $\lambda_2$  (1550nm) に対する $I$ の相対値をシミュレーションして、両者を比較した図である。また、図7はこのシミュレーション結果を、 $I$ の相対値を縦軸に、 $\Delta n$ の基準値(0.35%)からの変化率を横軸に描き直した図である。図5、図6からシミュレーションが実測値と良く一致することが判る。図7から、 $I$ の相対値を0.1dB以下にするためには、 $\Delta n$ の変化率が1.06以下つまり6%以下でなければならない。また、 $\Delta n$ が変動する場合は、 $|I(\lambda_2)| > |I(\lambda_1)|$ であり、 $\lambda_1=1310\text{nm}$ 、 $\lambda_2=1550\text{nm}$ のとき、 $I(\lambda_1) \approx 0.8 \times I(\lambda_2)$ の関係があることも読み取ることができる。

【0031】次に、プリフォームをフッ酸で表面処理することにより外径を変動させたプリフォームを作製し、これを外径125 $\mu\text{m}$ になるように線引きして、コア径が8 $\mu\text{m}$ を中心値として変動する光ファイバを得た。この光ファイバを用いてOTDR測定を行ない、その結果を図8～10に示した。図8は、波長 $\lambda_1$  (1310nm) と波長 $\lambda_2$  (1550nm) で光ファイバの長手方向の位置 $z$ を変えて測定した波形の変動量 $I$ を、図5の場合と同様にして捕集係数 $B$ の変動分を取り出し、各 $z$ についてプロットした図である。

【0032】次に、コア径8 $\mu\text{m}$ 、 $\Delta n=0.35\%$ を基準値として、コア径を微小に変化させたときの電界分布 $\psi$ をシミュレーションによって計算し、[数19]式に基づいて捕集係数 $B$ を求め、さらに、[数18]式によって後方散乱光強度の変化量の捕集係数変動分 $I(\lambda, z)$ を求めて、コア径8 $\mu\text{m}$ のときの $I$ を基準にして差分をとると、 $I$ の相対値をシミュレーションできる。図9は、このような手順で $\lambda_1$  (1310nm)、 $\lambda_2$  (1550nm) に対する $I$ の相対値をシミュレーションして両者を比較した図である。また、図10は、このシミュレーションの結果を、 $I$ の相対値を縦軸に、コア径の基準値(8 $\mu\text{m}$ )からの変化率を横軸に描き直した図である。図8、図9からシミュレーションが実測値と良く一致することが確認できる。また、図10から、 $I$ の相対値を0.

1dB以下にするためには、コア径の変化率が $\times 1.07$ 以下、つまり7%以下でなければならないことが判る。また、コア径が変動する場合は、 $|I(\lambda_1)| > |I(\lambda_2)|$ であり、 $\lambda_1=1310\text{nm}$ 、 $\lambda_2=1550\text{nm}$ のとき、 $I(\lambda_1) \approx 2 \times I(\lambda_2)$ の関係があることも読み取ることができる。

#### 【0033】

【発明の効果】本発明のシングルモード光ファイバは、光ファイバの片端からOTDR測定を行うことで、容易に伝送損失不具合部分を特定することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 光ファイバの長手方向に沿って測定されたOTDR測定曲線を示す。

【図2】 伝送損失の均一な光ファイバのOTDR測定曲線を示すモデル図である。

【図3】 (a)～(d)は、一部に伝送損失の高い部分が存在する光ファイバのOTDR測定曲線のモデル図である。

【図4】 (a)～(e)は、捕集係数 $B$ が変化する部分が存在する光ファイバのOTDR測定曲線のモデル図である。

【図5】 長手方向に比屈折率差を変動させた光ファイバを波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ で測定して得たOTDR測定波形の捕集係数 $B$ の変動分をプロットした図である。

【図6】 長手方向に比屈折率差を変動させた光ファイバの捕集係数 $B$ の変動分のシミュレーション結果を示す図である。

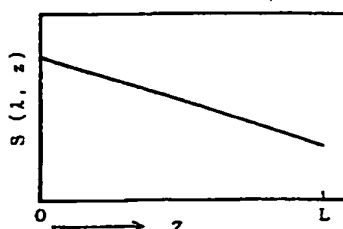
【図7】 比屈折率差 $\Delta n$ の変化率と捕集係数 $B$ の変動分との関係のシミュレーション結果を示す図である。

【図8】 長手方向にコア径を変動させた光ファイバを波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ で測定して得た捕集係数 $B$ の変動分をプロットした図である。

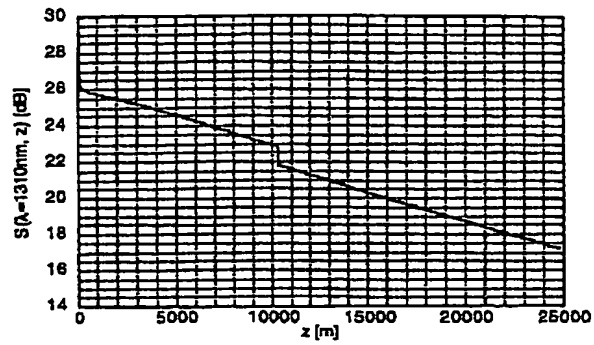
【図9】 長手方向にコア径を変動させた光ファイバの捕集係数 $B$ の変動分のシミュレーション結果を示す図である。

【図10】 コア径の変化率と捕集係数 $B$ の変動分との関係のシミュレーション結果を示す図である。

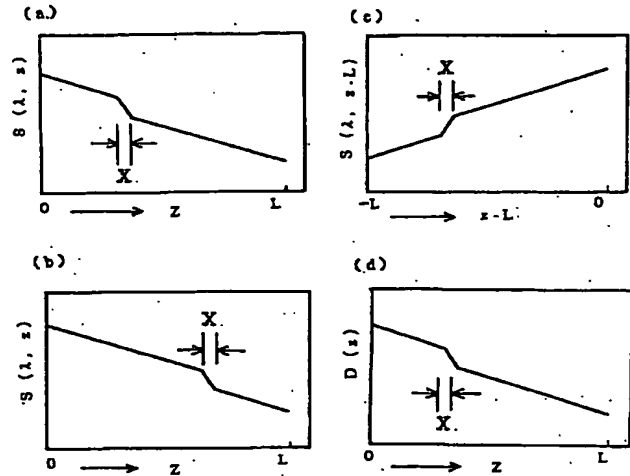
【図2】



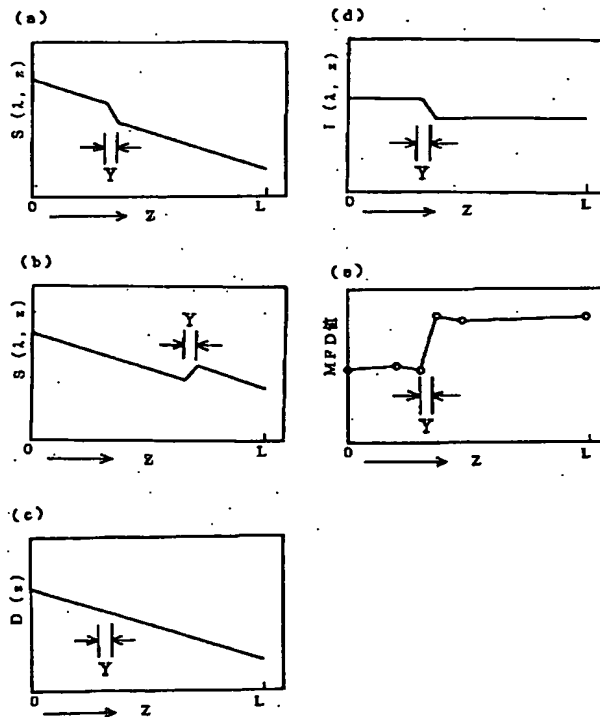
【図1】



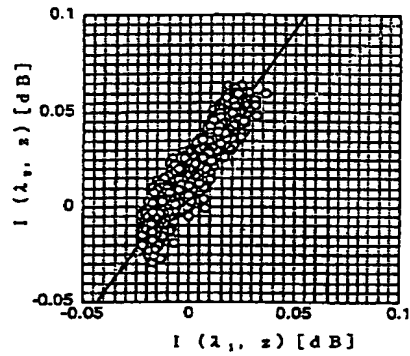
【図3】



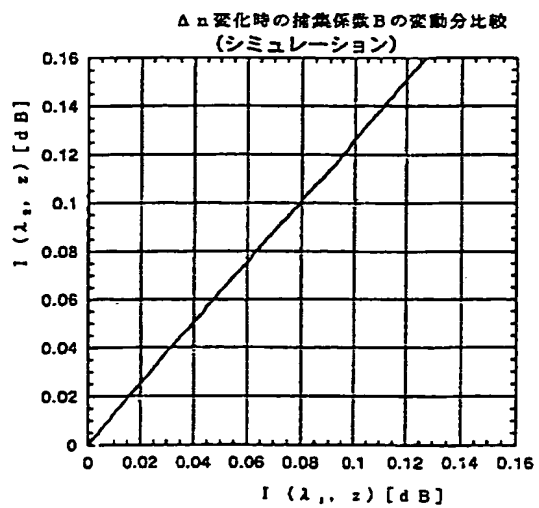
【図4】



【図5】

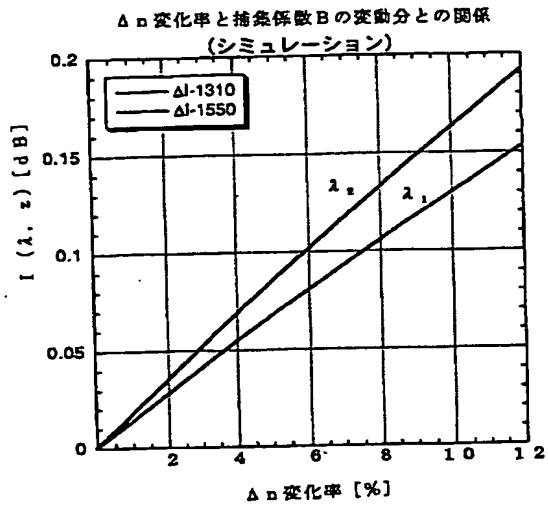


【図6】

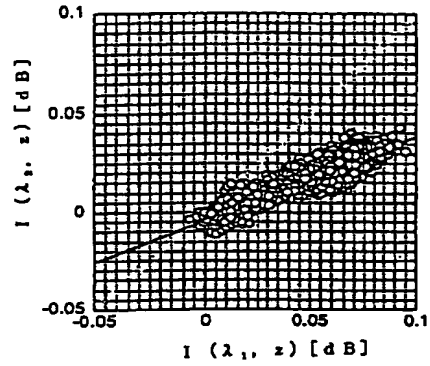




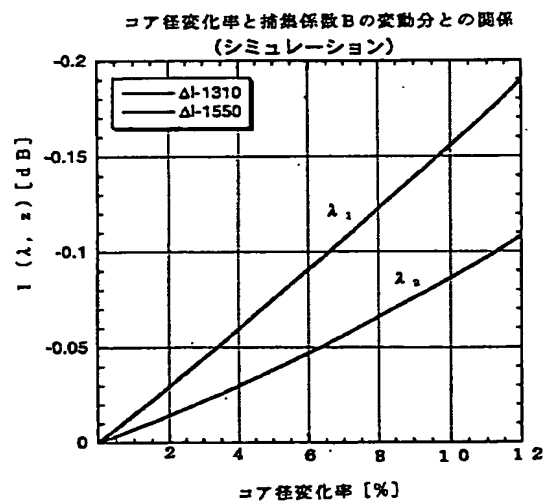
【図7】



【図8】



【図10】



【図9】

